

1. Elektrolyse von Wasser

Mit Wasserstoff als Energiespeicher wird die Verstetigung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere bei Windkraft und Photovoltaik, möglich. Die saisonalen Überschüsse von Wind- und Solarstrom können chemisch als H₂ zwischengespeichert werden können: Es handelt sich also um ein **Power-to-Gas-Verfahren**.

Nachhaltig und besonders ökologisch ist die H₂-Produktion durch Elektrolyse nur dann, wenn regenerative Stromquellen genutzt werden. Die Elektrolyse führt zur man zur Steigerung des Stromflusses bevorzugt mit stark verdünnter Schwefelsäure oder Kalilauge durch.

1.1 Formulieren Sie die Redox-Reaktionen für den sauren und den alkalischen Fall mit **getrennten Teilgleichungen**.

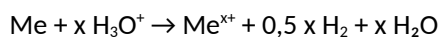
Die Aktivierungsenergie zur elektrolytischen Zerlegung von schwerem Wasser (²H₂O = D₂O) ist etwas höher als beim leichten Wasser, da die Deuterium-Atome aufgrund ihrer doppelten Masse etwas mehr Schwingungsenergie zum Bindungsbruch benötigen. Schweres Wasser reichert sich

im Verlauf der Elektrolyse immer stärker an, weil seine Reaktionsgeschwindigkeit kleiner ist

Dieser **kinetische Isotopeneffekt** trifft auch auf andere Reaktionen mit Beteiligung von Deuterium zu. Sie verlaufen im Vgl. zur Protium langsamer.

2. Im Labor: Reaktion von Unedelmetallen mit Säuren.

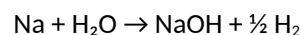
Metalle mit einem Standardpotential von E° < 0 V lösen sich in der Regel in Säure-Lsg. mit c(H₃O⁺) = 1 mol/L auf:



Beispiel: $\text{Zn} + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$

mit Gegenionen: $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$

Bei sehr unedlen Metallen, reicht auch c(H₃O⁺) = 10⁻⁷ mol/L, also neutrales Wasser für die analoge Reaktion!



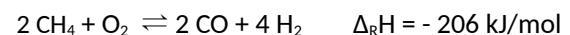
3. Herstellung auf fossilen Grundstoffen

Dampfreformierung: Kennzeichen der Dampfreformierung ist, dass Kohlenwasserstoffe oder CH_x-reiche organische Verbindungen, zumeist Kohlenwasserstoffe, mit Wasserdampf umgesetzt werden. Erdgas ist derzeit der wichtigste Rohstoff, prinzipiell eignen sich viele aliphatische Kohlenwasserstoffe wie Leichtbenzin, Methanol, Biogas oder Biomasse als Ausgangsmaterial.

Zur Durchführung wird heißer Wasserdampf mit dem zu reformierenden Gas oder der verdampften Flüssigkeit vermischt und unter ständiger Energiezufuhr an einem **heterogenen Katalysator**, beispielsweise Nickel, in der Gasphase umgesetzt. Mit Methan (Erdgas) findet die Reaktion bei 750 °C und 40 bar statt:



Die hohe erforderliche Energie wird durch Verbrennung eines Anteils des Erdgas erreicht („**partielle Oxidation**“):



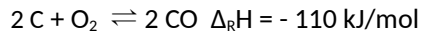
H₂-haltige Gasgemische (H₂/CO oder H₂/N₂) werden **Synthesegas** genannt, da sie von großer Bedeutung für die Synthese vieler Verbindungen sind, z.B. Methanol, Ammoniak, Benzin!

3.1 Weshalb verbrennt man nicht das Methan vollständig zu CO und H₂, lässt also nur die zweite Reaktion ablaufen?

Kohlevergasung: Die Überführung von Kohlenstoff (C) in brennbare gasförmige Verbindungen, insbesondere *Synthesegas*, wird **Kohlevergasung** genannt. Das Synthesegas entsteht dabei über folgende Reaktion:

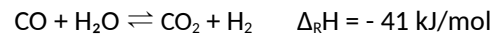


Die hohe erforderliche Energie wird auch hier durch partielle Oxidation eines Anteils des Erdgas erreicht:



Anschließende Wassergas-Shift-Reaktion: Noch mehr H_2 !

Das im Synthesegas enthaltene CO lässt sich sowohl bei der Dampfreformierung als auch bei der Kohlevergasung zur Erzeugung weiteres Wasserstoffs H_2 nutzen. Die Reaktion findet bei ca. 800 °C und dem Einsatz von Katalysatoren (auf Basis von FeO) statt.



4. Weitere Verfahren

4.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung

- Cracking-Verfahren von Alkanen zu Alkenen (mit $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ formulieren)
- partielle Oxidation von Erdölfraktionen (z.B. Pentadecan)
- *Kvaerner Prozess:* Zersetzung von Kohlenwasserstoffen im Lichtbogen (z.B. Pentadecan)